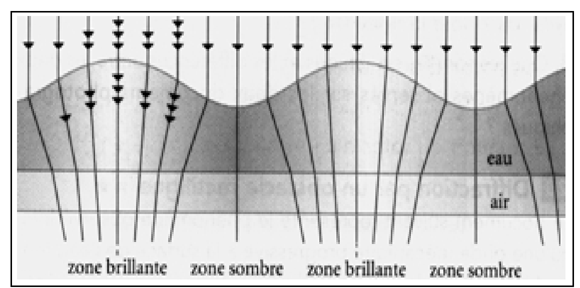
TP 4 : Ondes périodiques - Correction

Objectifs : Définir pour une onde progressive sinusoïdale, la période T, la fréquence *f* et la longueur d'onde λ.
Connaître et exploiter la relation entre la période où la fréquence, la longueur d'onde et la célérité.
Pratiquer une démarche expérimentale pour déterminer la période, la fréquence, la longueur d'onde et la célérité d'une onde progressive.

I°) Double périodicité

Principe d'une cuve à onde



Un oscillateur perturbe la surface d'une épaisseur d'eau.
Il apparaît alors des rides. Cette surface d'eau est éclairée par une lampe placée directement au dessus.

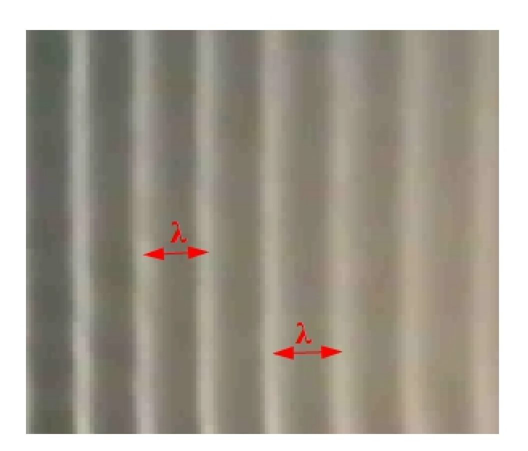
La lumière qui arrive sur les rides subie le phénomène de réfraction que vous avez étudié en 2nde. (voir ci-contre)
Une crête de vague apparaît brillante sur l'écran.

On peut choisir de voir des ondes circulaires ou des ondes rectilignes (ondes planes)

a°) Périodicité spatiale : longueur d'onde λ

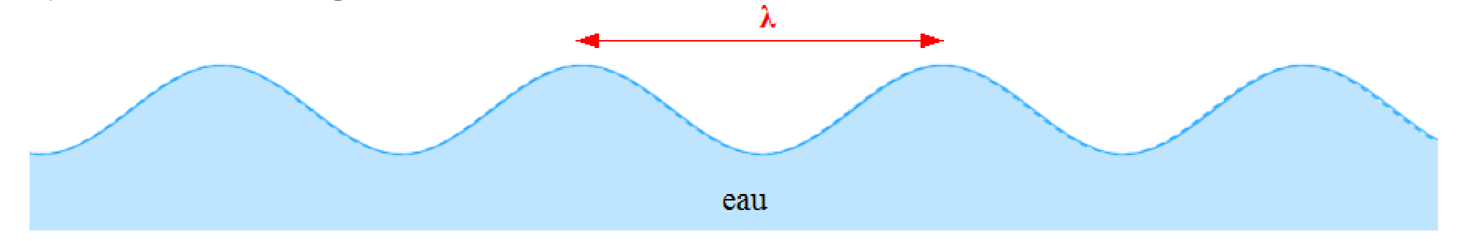
Voici ci-dessous les images d'ondes rectilignes et d'ondes circulaires en ***vue du dessus:***





1°) Redessiner rapidement ces ondes sur votre feuille compte rendu et repérer à l'aide d'une flèche sur le dessus, une distance caractéristique.

2°) Dessiner une vue de profil de ces ondes.



3°) Cette distance est appelée longueur d'onde λ. Donner une première définition de ce paramètre.

D'après la dernière image, nous pouvons dire que :

La longueur d'onde λ est la longueur séparant 2 points du milieu qui sont dans un même état vibratoire, on dit qu'ils sont en phase.

b°) Périodicité temporelle : période T

1°) Rappeler la définition de la période T d'un phénomène.

La période temporelle T est la plus petite durée pour qu'un phénomène se répète identique à lui même.

2°) Définir également la fréquence *f*.

La fréquence *f* d'un phénomène périodique est le nombre de fois que se répète le phénomène par seconde.
Nous avons la relation bien connue : $f = \frac{1}{T}$ ou *f* est Hz et T en s.

II°) Lien entre λ, T et la célérité *c*

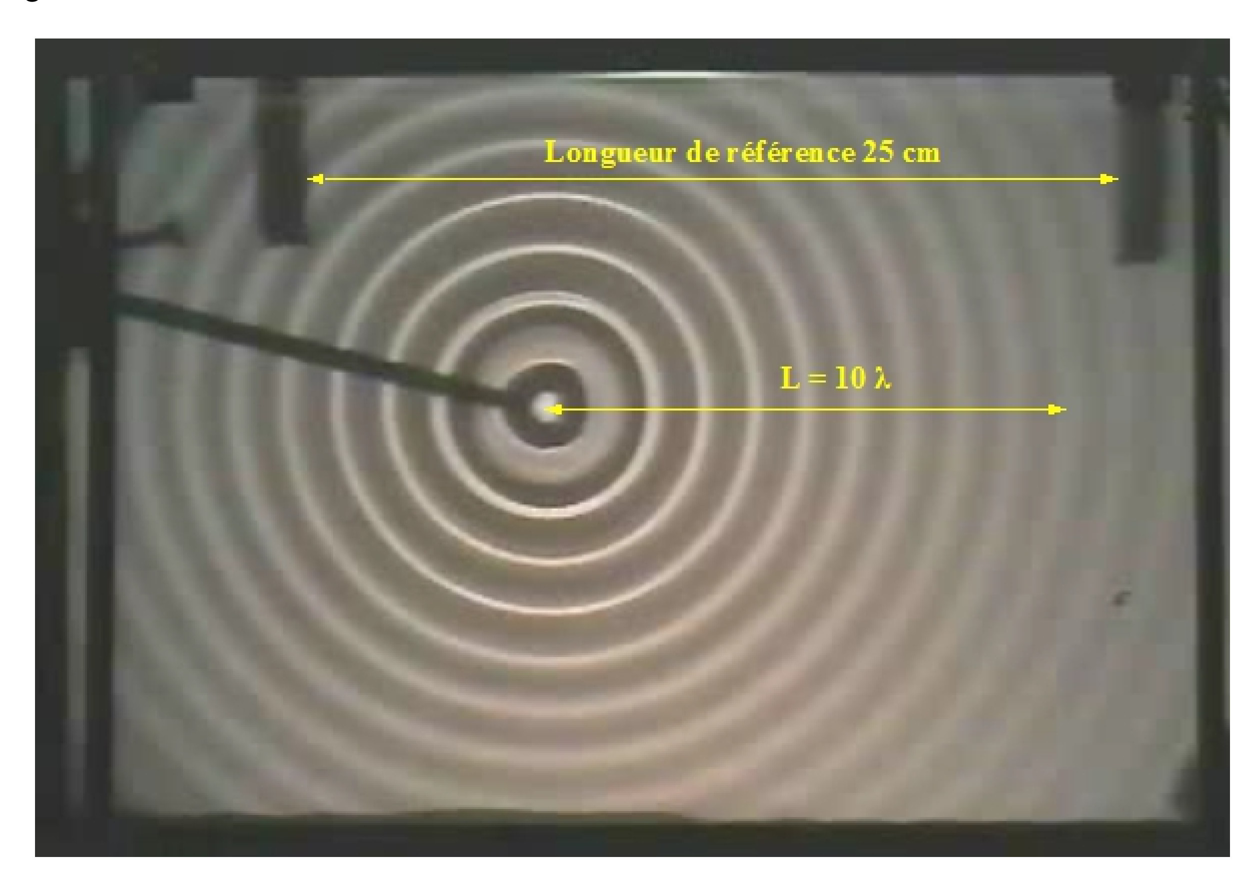
Vous allez chercher une relation entre la longueur d'onde λ et sa période T.

Pour cela nous allons étudier la vidéo ondes planes avec 2 logiciels ***Régressi*** et ***RegAvi***.

a°) Mesure de λ

- Dans le dossier ***Travail*** → *Ouvrir* l'image ondes circulaires. *(Faire un zoom).*

1°) Mesurer la longueur d'onde λ. L'échelle vaut 25 cm entre les 2 scotchs (entre les bords intérieurs) en haut de l'image.



Pour être plus précis, on mesure 10 longueurs d'onde λ (on utilise sa règle sur l'écran) :

On mesure : 6,9 cm sur l'image (ci dessus). L'échelle du document vaut sur l'image 0,25 m ↔ 10,7 cm

On en déduit que $L = 10\,\lambda = \frac{6{,}9 \times 0{,}25}{10{,}7} = 0{,}16\text{ m}$ **.**

Et donc on trouve $\lambda = \frac{L}{10} = \frac{16}{10} = 0{,}016\text{ m} = 1{,}6\text{ cm}$ **.**

2°) Que faut-il faire pour augmenter la précision sur λ ? Justifier.

On mesure plusieurs longueurs d'onde. En effet l'incertitude de lecture reste la même, nous avons : $L = 10\,\lambda = 0{,}16 \pm U(L)$ *m* et donc $\lambda = \dfrac{16 \pm U(L)}{10}$ et donc l'incertitude absolue $U(\lambda) = \dfrac{U(L)}{10}$ est diminuée d'un facteur 10. Donc l'incertitude sur la longueur d'onde est plus petite, la précision en est donc meilleur.

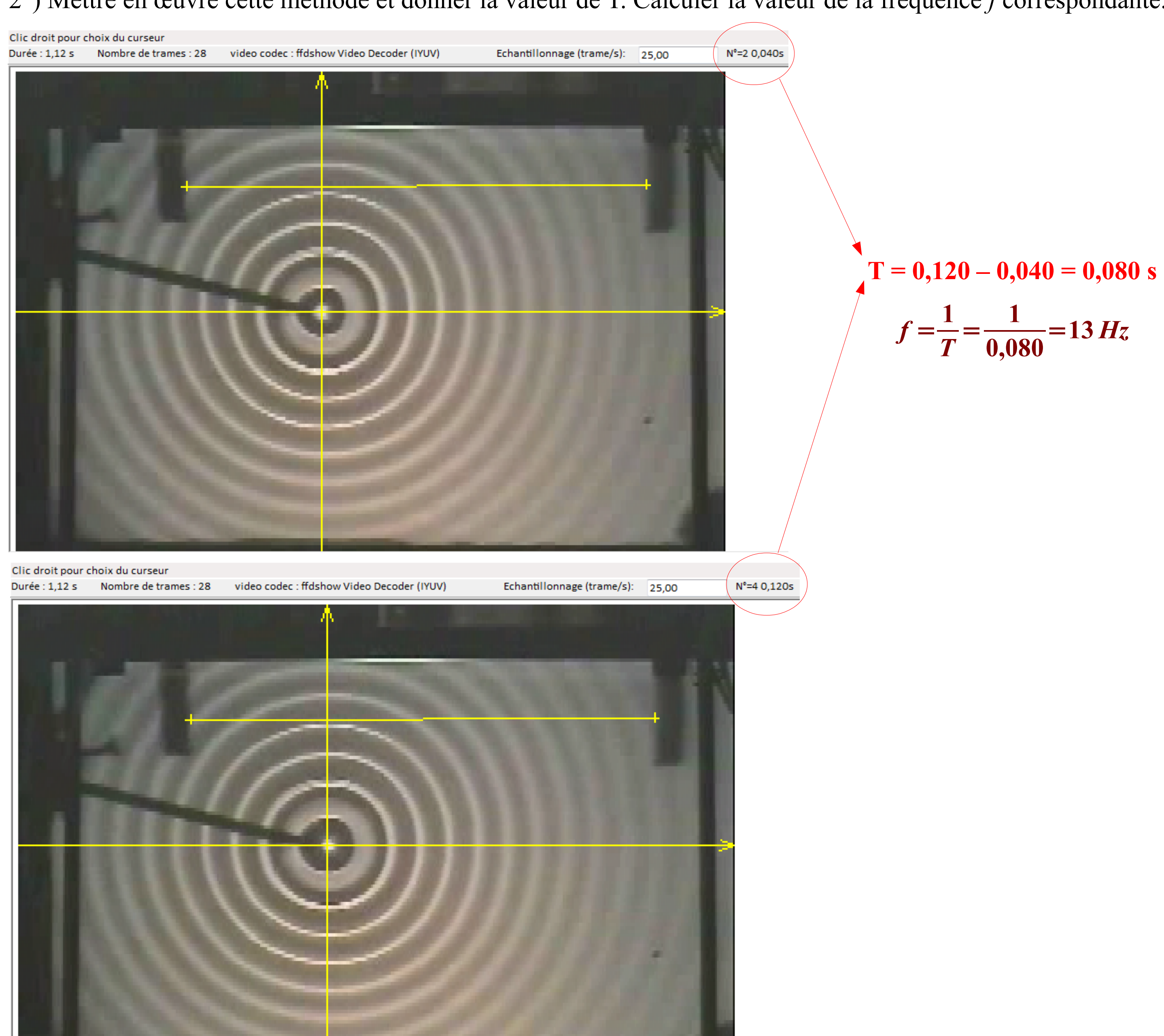
<u>b°) Mesure de T</u>

- Lancer *Régressi* → *Fichier* → *Nouveau* → *Régavi.*
- *Lecture d'une vidéo* → *Ouvrir* et choisir *Ondes circulaires*. (Voir mode d'emploi de Régavi)

1°) Déterminer par une méthode que vous expliquerez, la période T pour un point de la surface de l'eau.

Sur une image de la vidéo, on place un repère (la souris par exemple) sur une crête de "vague" (on repère la date de l'image) et on fait défiler image par image jusqu'à de nouveau on se retrouve sur une crête (on repère la date de cette image). La période T sera donnée par la différence des dates des 2 images

2°) Mettre en œuvre cette méthode et donner la valeur de T. Calculer la valeur de la fréquence *f* correspondante.



T = 0,120 – 0,040 = 0,080 s

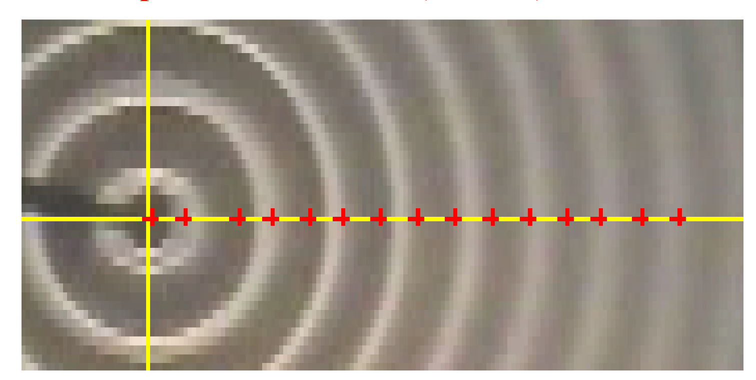
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}080} = 13\ Hz$$

c°) Mesure de la célérité *c*

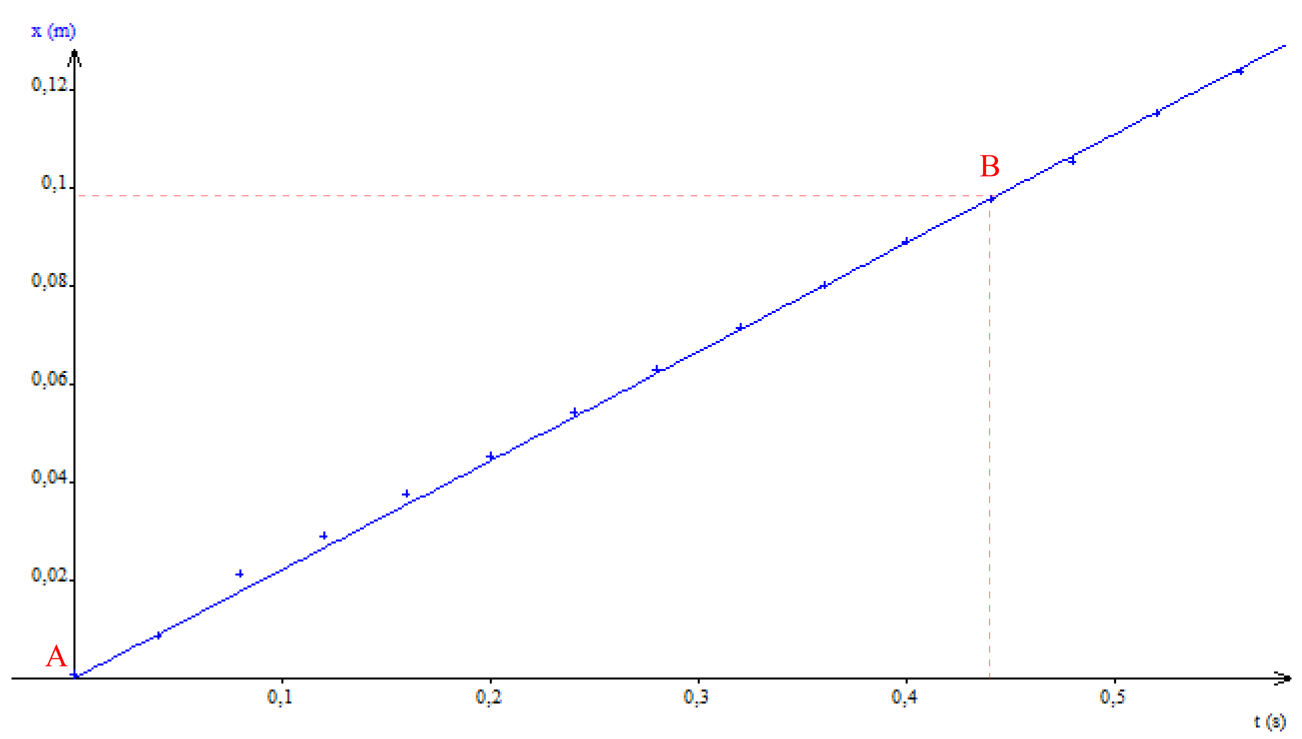
- *En utilisant les fonctions de Régavi (voir mode d'emploi) suivre la propagation d'une* ***ride*** *au cours de son déplacement pointer les positions successives. (Attention veiller à rester sur l'axe des abscisses).*
- *Envoyer vos résultats sous Régressi.*

1°) Faire afficher alors l'évolution de ***x*** au cours du temps ***t***. Que constatez-vous ?

Voici les positions d'une ride (ou crête) au cours du temps.



Nous obtenons graphiquement:



On constate que l'abscisse *x* de la ride est proportionnel au temps *t* et donc nous pouvons écrire la relation habituelle : $x = c \times t$ **(de la forme *y = a.x*) ou *c* est tout simplement la célérité de l'onde. Elle se calcule donc avec le coefficient directeur de la droite.**

2°) Mesurer alors la célérité *c* de l'onde.

On calcule le coefficient directeur de la droite soit avec le logiciel (ou avec soit la formule $a = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}$ **) :**

On prend 2 points sur la droite : A(0 ; 0) et B(0,44 s ; 0,098m) (voir graphe précédent).

Et donc la célérité vaut $c = \frac{0 - 0{,}098}{0 - 0{,}44} = 0{,}22\,\text{m.s}^{-1}$ **. (Le logiciel donne la même valeur)**

3°) Calculer le rapport $\frac{\lambda}{T}$ et le comparer à ***c***. Conclure sur le lien entre λ, c et T.

En résumé nous avons mesuré λ = 1,6 cm = 0,016 m et puis T = 0,080 s.

Nous avons $\frac{\lambda}{T}=\frac{0{,}0161}{0{,}080}=0{,}20\,m.s^{-1}$ **. On retrouve aux incertitudes de mesures près, la valeur de la célérité mesurée précédemment. Nous voyons que** $\frac{\lambda}{T}=c$ **.**

Et donc nous avons la relation générale :

$$\lambda = c \times T$$

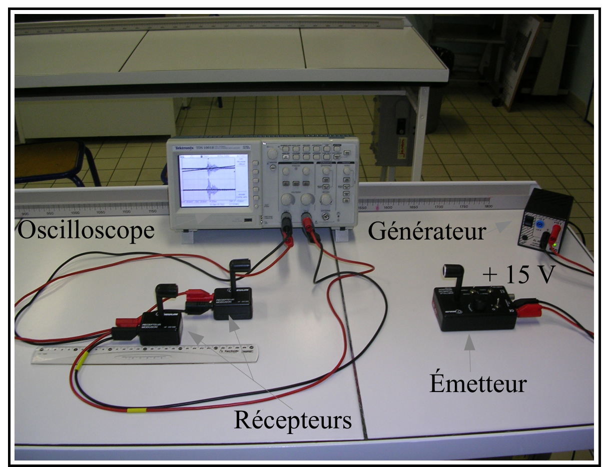
4°) En déduire une autre définition de la longueur d'onde λ.

Au vue de la dernière formule :

Autrement dit, la longueur d'onde λ est la longueur parcourue par l'onde en 1 période T

III°) Application : mesure de la célérité du son

Nous allons réutiliser le montage du précédent TP. On reprend 1 émetteur et 2 récepteurs ultrasonores.
Ci nécessaire revoir la feuille sur l'utilisation d'un oscilloscope.



- Réaliser le schéma ci-contre.
- L'émetteur doit être positionné en mode continu.
- Placer les récepteurs côte à côte à environ 20 cm de l'émetteur.
- Appuyer sur ***Autoset*** puis tourner le bouton de la base de temps pour lire 2 ou 3 périodes sur l'écran.
- Sur l'émetteur, tourner le bouton ***fréquence* +/-** de manière à avoir une amplitude maximale.

Placer l'émetteur en mode continu ; il envoie dans ce cas des ondes sonores de manière ininterrompue.

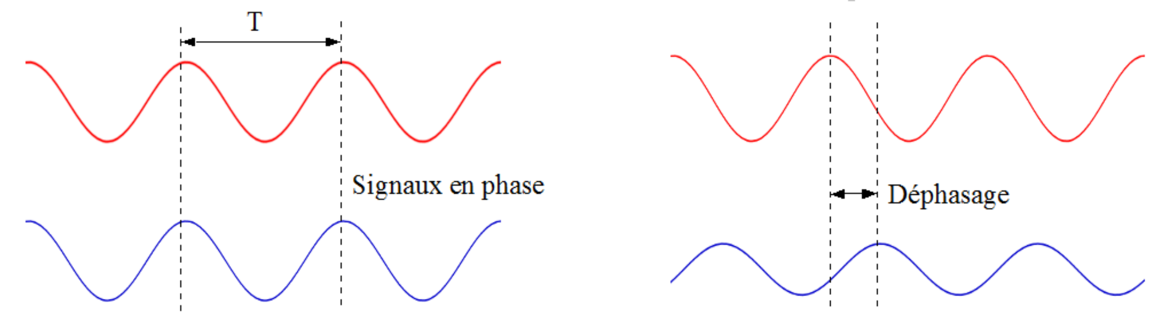
$U_{lecture} = 2 \times \frac{1\,graduation}{\sqrt{12}}$

L'émetteur et les récepteurs permettent de faire la transformation entre des ondes mécaniques (les ultrasons) et des ondes électriques, que nous pourrons visualiser à l'oscilloscope.

$U_{double\ lecture} = \sqrt{2}\ U_{lecture}$

a°) Mesure de la période T

1 °) Placer les 2 récepteurs au même endroit. Dessiner ci-dessous l'oscillogramme obtenu. Décaler un des récepteurs d'une certaine distance et dessiner ci-dessous l'oscillogramme obtenu :



Récepteurs au même endroit ***Récepteurs décalés***

2°) Noter la base de temps utilisée.

Elle vaut: 10,0 *µs* / *div* et donc un graduation vaut $\frac{10,0}{5}=2,0\,\mu s$ **.**

3°) Calculer alors la période T de l'onde et indiquer l'incertitude U(T). Écrire le résultat final sous la forme T ± U(T). ***Remarque :*** on donne les incertitudes d'une simple et d'une double lecture :

$$U_{lecture} = 2 \times \frac{1\text{ graduation}}{\sqrt{12}} \qquad U_{double\ lecture} = \sqrt{2}\ U_{lecture}$$

<u>Mesure sur l'oscilloscope</u> **: D'après l'écran d'oscilloscope, la période T est représenté par 2,5 divisions, la base de temps ici vaut 10 *µs* et donc nous avons :** ***T = 2,5 × 10 = 25 µs = 2,5 × 10⁻⁵ s.***

Incertitude sur l'oscilloscope**:** la plus petite graduation sur l'écran est 1/5 d'un division car il y a 5 graduations dans une division. Donc 1 graduation sera 1/5 ième de la base de temps.

5 graduations

Donc une graduation sur l'oscilloscope vaut : $1\text{ graduation} = \frac{\text{Base de temps}}{5} = \frac{10}{5} = 2\,\mu\text{s}$

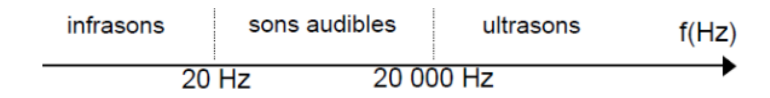
L'incertitude vaut alors $U(T) = \sqrt{2}\ U_{lecture} = \sqrt{2} \times 2 \times \frac{1\text{ graduation}}{\sqrt{12}} = \sqrt{2} \times 2 \times \frac{2\,\mu\text{s}}{\sqrt{12}}$

$$U(T) = \pm\, 2\,\mu\text{s}$$



On ne garde qu'un seul chiffre significatif dans une incertitude. Et donc $T = 25 \pm 2\,\mu\text{s}$ que l'on peut réécrire : $T = (25 \pm 2) \times 10^{-6}\text{s}$

4°) En déduire la fréquence *f*. Est-ce bien une onde ultrasonore ?



La fréquence vaut alors $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2,5 \times 10^{-5}} = 40 \times 10^{3}\,\text{Hz} = 40\,\text{kHz}$ **. Cela se trouve dans le domaine des ultrasons.**

<u>b°) Mesure de la longueur d'onde λ</u>

- Reculer doucement l'un des récepteurs.

1°) Arrêter de reculer le récepteur dès que les 2 courbes sont de nouveau en ***<u>phase</u>*** (même état vibratoire). Que représente la distance parcourue par le récepteur ?

On a vu au début qu'une longueur d'onde est la distance séparant 2 points du milieu qui vibrent en phase (de manière identique). Donc si on éloigne d'une longueur d'onde λ un des récepteurs, il est logique que l'oscillogramme affiche les même courbes pour les 2 récepteurs.

La distance parcourue vaut donc une longueur d'onde λ.

3°) Utiliser cette méthode pour mesurer 10 longueurs d'ondes **λ** (on notera x cette longueur, $x = 10\ \lambda$).
Calculer l'incertitude de mesure $U(x)$ sachant que nous avons :

Mesure sur la règle **: La distance mesurée est *d = 8,4 cm = 0,084 m.***

Incertitude sur le règle : la plus petite graduation sur la règle est ***1 mm*** donc l'incertitude vaut :

$$U(d) = \sqrt{2}\ U_{lecture} = \sqrt{2} \times 2 \times \frac{1\,\text{graduation}}{\sqrt{12}} = \sqrt{2} \times 2 \times \frac{1\,\text{mm}}{\sqrt{12}}$$

$$U(d) = \pm\ 0{,}9\,\text{mm}$$


On ne garde qu'un seul chiffre significatif dans une incertitude. Et donc nous avons $d = 8{,}4 \pm 0{,}9$ mm

4°) En déduire la mesure de **λ** et écrire le résultat final sous la forme $\lambda \pm U(\lambda)$.

On en déduit que $\boxed{\lambda = \frac{8{,}40 \pm 0{,}8}{10} = 8{,}40 \pm 0{,}09\,\text{mm}}$.

c°) Calcul de la célérité *c* de l'onde

1°) Des mesures précédentes, calculer la célérité ***c*** de l'onde.

On sait $\lambda = c \times T$ **et donc on a:** $c = \frac{\lambda}{T} = \frac{8{,}4\times10^{-3}}{2{,}5\times10^{-5}} = 336\,\text{m.s}^{-1}$ **sans tenir compte des chiffres significatifs car on va calculer l'incertitude absolue U(c).**

2°) Calculer l'incertitude absolue sur ***c*** sachant que nous avons $\left(\frac{U(c)}{c}\right)^2 = \left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2$. Écrire le résultat final sous la forme $c \pm U(c)$.

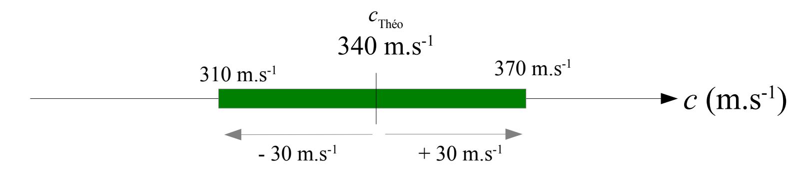
On a $U(c) = c \times \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2} = 336 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}08}{8{,}40}\right)^2 + \left(\frac{2}{25}\right)^2} = \pm\ 3\times10^1\,\text{m.s}^{-1}$

On a donc le résultat suivant $\boxed{c = 3{,}4\times10^2 \pm 3\times10^1\,\text{m.s}^{-1}}$. **Ce qui s'écrit aussi** $\boxed{c = (34 \pm 3)\times10^1\,\text{m.s}^{-1}}$

3°) Calculer la célérité théorique du son ou ultrason sachant que $c_{son} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ *ou* ***R = 8,314 S.I*** et T est la température en Kelvin, M est la masse molaire du gaz, ici c'est de l'air donc $\boldsymbol{M = 2{,}90 \times 10^{-2}\ kg.mol^{-1}}$ et $\boldsymbol{\gamma = 1{,}4}$. Cette valeur est elle compatible avec votre mesure ?

La température de la pièce est T = 20°C = 293 K. Nous avons donc $c_{son} = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\frac{1{,}4\times8{,}314\times293}{2{,}90\times10^{-2}}} = 3{,}4\times10^2\,m.s^{-1}$

Nous avions mesuré que la célérité vaut $c = 3{,}4\times10^2 \pm 3\times10^1\,\text{m.s}^{-1}$ **ce qui veut dire aussi que** $c \in [310\,;370]\,m.s^{-1}$
Or $v_{théo}$ appartient bien à cet intervalle donc la relation théorique proposée semble correcte à première vue.



Cette valeur est compatible avec notre mesure puisqu'elle se trouve dans notre zone de confiance.